



**ANÁLISE E MODELAGEM COMPUTACIONAL DE SISTEMAS HIDRÁULICOS  
PARA UM AEROGERADOR DE EIXO HORIZONTAL: resultados preliminares**  
**COMPUTER ANALYSIS AND MODELING OF HYDRAULIC SYSTEMS FOR A  
HORIZONTAL SHAFT GENERATOR: preliminary results**

**Autores:** Vinicius Weiss Simi SCHINDLER, Eduardo Augusto FLESCHE, Marcos Vinicio ORO

**Identificação autores:** Engenharia Mecânica IFC - Campus Luzerna; IFC - Campus Luzerna; IFC - Campus Luzerna.

**RESUMO**

O presente projeto visa estudar e analisar um sistema hidráulico de um aerogerador de porte pequeno, 150 kW, apresentado em Flesch (2012). Dentre os tópicos abordados tem-se efeito de sombra, o estudo de um sistema com acumulador hidráulico e a implementação computacional de eficiência da bomba hidráulica. O desenvolvimento do projeto se deu através do uso da ferramenta computacional LMS Amesim, software utilizado por empresas de grande porte e de diversos segmentos industriais. Os resultados são apresentados de forma preliminar através de gráficos, separadamente.

**Palavras-chave:** transmissão hidráulica; aerogerador; modelagem computacional.

**ABSTRACT**

This project aims to study and analyze a hydraulic system of a small wind turbine, 150 kW, presented in Flesch (2012). Among the topics covered are the shadow effect, the study of a system with hydraulic accumulator and the computational implementation of hydraulic pump efficiency. The project was developed using the LMS Amesim computational tool, software used by large companies and various industrial segments. Results are presented in preliminary form through graphs separately.

**Keywords:** hydraulic transmission; wind turbine; computer modeling.

## **INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA**

Em um aerogerador, a energia provida pelo vento, captada pelo rotor, é transformada em energia mecânica, passando pelos componentes, e então transformada em energia elétrica pelo gerador. Segundo a ANEEL a energia deve ser entregue à rede com uma frequência de 60 Hz, assim os aerogeradores convencionais com caixa multiplicadora utilizam circuitos de potência para manter essa frequência. Conforme Fadigas (2011) esses são ambos grandes empecilhos, afinal a caixa multiplicadora é um componente bastante problemático, necessita de manutenção frequentemente, possui alto custo e limita os elementos à nacele; enquanto a eletrônica de potência contribui para a ausência de confiabilidade do sistema, como também para o custo total e aumento da complexidade.

Devido ao avanço no estudo de aerogeradores, diversas pesquisas estão sendo realizadas para contornar os problemas citados, como a transmissão hidrostática. De acordo com Schmitz et al. (2010), as vantagens obtidas com o emprego de tal sistema consistem em complexidade reduzida, maior confiabilidade, custo menor e maior flexibilidade. Thult et al. (2011) apontam a boa qualidade de amortecimento e a menor carga resultante na torre do aerogerador devido ao uso de componentes de menor massa.

O presente projeto visa analisar através simulações computacionais como um sistema de transmissão hidrostática se comporta em um aerogerador de eixo horizontal. Pode-se citar a análise do efeito de sombra, o estudo de um sistema com acumulador hidráulico e a modelagem da eficiência da bomba de maneira condizente com a realidade. A modelagem de um aerogerador utilizando múltiplas bombas não foi abordada no projeto atual.

## **METODOLOGIA**

O desenvolvimento desse projeto utilizou da ferramenta de simulação computacional LMS AMESim, um software desenvolvido pela companhia Siemens e utilizada por empresas de renome como a Embraer. O AMESim é um simulador comercial para modelagem e análise de sistema com vários domínios tecnológicos no campo de engenharia.

A análise e experimento foram baseadas nos resultados apresentados em Flesch (2012). Dentre as principais características desse projeto pode-se citar a potência do aerogerador de 150 kW, projetado para velocidade máxima do vento de 12 m/s, um rotor composto por três pás com um diâmetro de 22 m e pressão de operação do sistema de 24 Mpa, gerando a escolha de uma bomba hidráulica modelo MR-700 e um motor hidráulico modelo AA6VM-355. A imagem do sistema base utilizado encontra-se abaixo.

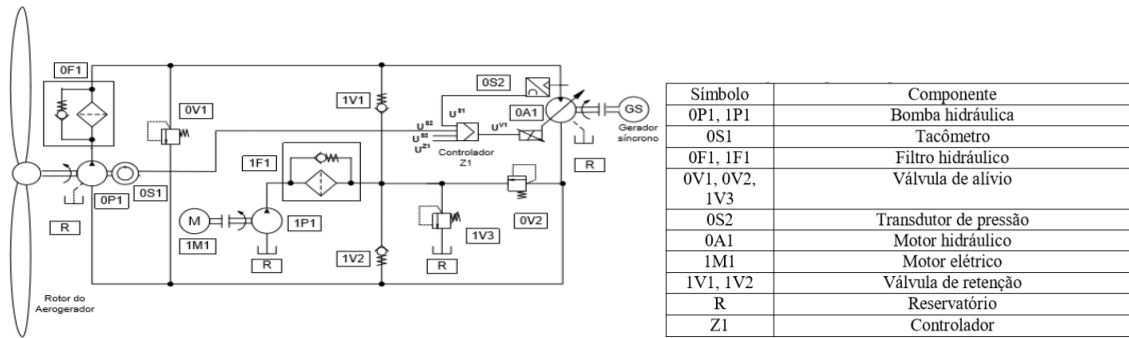


Figura 1 – Modelo de simulação base, LMS Amesim; Fonte: Flesch (2012)

Para análise das simulações utilizou-se uma padronização na velocidade de vento, em degraus, permitindo um estudo mais confiável do sistema hidráulico. A configuração de velocidade é mostrada na figura 2.

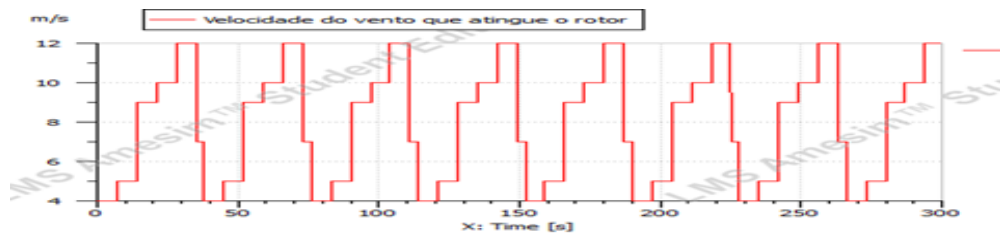


Figura 2 – gráfico da variação da velocidade do vento com o tempo; Fonte: Autor

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Efeito de sombra

O efeito de sombra é um fenômeno que causa grande variação na estabilidade do torque atuante sobre o rotor. Esse fenômeno ocorre devido a interação da corrente de ar com a torre do gerador, causando vórtices e logo afetando a energia captada pelo rotor. Para analisar a variação da velocidade do rotor DAS et al. (2011) recomenda o uso da equação:

$$V_{es} = Vh + V_{tower} \quad (1)$$

$$V_{tower} = Vh * \quad (2)$$

sendo  $Vh$  a velocidade do vento [m/s] que atinge o rotor,  $a$  é o raio da torre do aerogerador,  $r$  é o raio do rotor [m],  $h$  é a distância do rotor ao meio da torre [m],  $y$  é variação de ângulo de uma pá ( $180 \leq y \leq 360$ ) e  $x$  a frequência de rotação do rotor. No presente estudo foi utilizado o raio da torre  $a = 1,05m$  (LAVASSAS et al., 2003),  $h = 3m$  (DAS et al., 2011) e um raio da pá  $r = 11m$  conforme apresentado em Flesch (2012). A figura 2 apresenta o efeito de sombra, segundo a abordagem de DAS et al. (2011), para uma velocidade do vento de 8m/s.

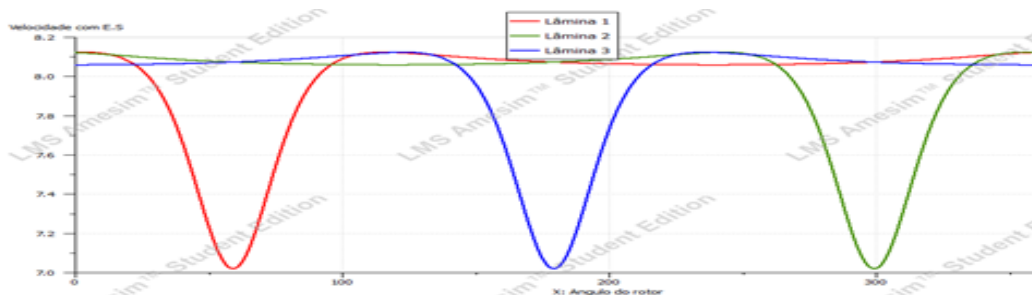


Figura 2 – Variação da velocidade do rotor com a variação do ângulo, causado pelo efeito de sombra.  
Fonte: Autor

### *Acumulador hidráulico*

O uso desse acumulador tem como objetivo reduzir as perturbações do sistema, causadas por efeito randômico do vento, para que a variação de frequência da corrente entregue à rede seja minimizada.

O acumulador escolhido teve como base um catálogo da DF equipamentos industriais. Para a escolha do modelo implementado foram analisados e testados acumuladores de diferentes volumes. O resultado é mostrado na figura 4.

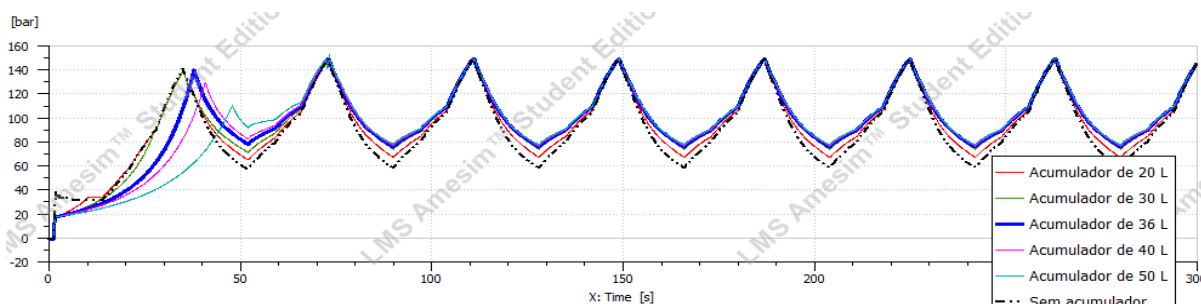


Figura 3 – Variação da pressão após o acumulador; Fonte: Autor.

Esse gráfico mostra a variação da pressão após o acumulador. A partir de um acumulador de 36 litros não ocorre mudança significativa na pressão, justificando a escolha desse modelo.

### *Implementação da eficiência da bomba*

A bomba hidráulica utilizada, modelo MR-700, teve implementada sua eficiência volumétrica e mecânica no *software* LMS AMESim, que utiliza dos dados projetados para cálculo da eficiência. Os dados necessários para tal execução foram obtidos através de catálogo do fabricante. A imagem a seguir retrata a eficiência real da bomba e compara essa com a eficiência adotada por Flesch (2012).

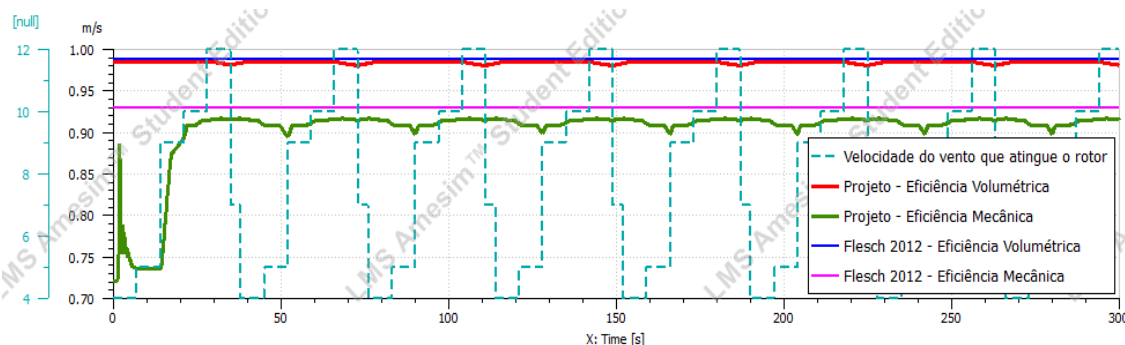


Figura 4 – Eficiências reais da bomba; Fonte: Autor.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto ainda está desenvolvendo o uso de múltiplas bombas no sistema, que visa alcançar o aumento da eficiência. Os resultados obtidos estão condizentes com os apresentados em bibliografias especializadas. Pode-se atestar isso tanto no estudo do efeito de sombra, quanto na implementação da eficiência na bomba. Com a conclusão dos estudos, todos os componentes estudados separadamente serão implementados em conjunto no modelo computacional, visando analisar o efeito de cada componente no comportamento do sistema como um todo.

## REFERÊNCIAS

DAS, Swagata; KARNIK, Neeraj; SANTOSO, Surya. Time-Domain Modeling of Tower Shadow and Wind Shear in Wind Turbines. **Isrn Renewable Energy**, [s.l.], v. 2011, n. 8, p.1-11, 2011. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.5402/2011/890582>

FADIGAS, Eliane A. Faria Amaral (Org.). **Energia eólica**. [S.l.]: Manole, 2011. 285 p. v. 1.

FLESCH, Eduardo Augusto. **PROJETO DE TRANSMISSÃO HIDROSTÁTICA PARA AEROGERADORES DE EIXO HORIZONTAL**. 2012. 191 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - UFSC, Florianópolis, 2012.

LAVASSAS, I. et al. **Analysis and design of the prototype of a steel 1-MW wind turbine tower**. 2003. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029603000592>>. Acesso em: 07 ago. 2019.

SCHMITZ, J.; VATHEUER, N.; MURRENHOFF, H. **Development of a Hydrostatic Transmission for Wind Turbines**. 7th International Fluid Power Conference, Aachen, Germany, 2010

THUL, B.; DUTTA, R.; STELSON, K. A. **Hydrostatic Transmission for Mid-Size Wind Turbines**. 52nd National Conference on Fluid Power, Las Vegas, USA. 2011.